

University of Groningen

## Paramagnetische dispersie in eenige zouten der ijzergroep

Teunissen, Petrus

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

1939

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Teunissen, P. (1939). *Paramagnetische dispersie in eenige zouten der ijzergroep*. Koninklijke Van Gorcum.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

# PARAMAGNETISCHE DISPERSIE IN EENIGE ZOUTEN DER IJZERGROEP.

## HOOFDSTUK I.

### INLEIDING.

#### § 1. *Paramagnetische dispersie.*

In paramagnetische stoffen bevinden zich ionen of moleculen, welke drager zijn van een vast magnetisch moment. Wordt nu zoo'n stof geplaatst in een magnetisch veld, dan zijn er verschillende instellingen mogelijk voor ieder moment; in iedere instelling heeft het moment een energie, die afhankelijk is van de veldsterkte  $H$ . Is het magneetveld constant, dan ontstaat er een evenwichtstoestand, waarin de momenten op een bepaalde wijze over de mogelijke instellingen verdeeld zijn, namelijk volgens de zoo-genaamde Boltzmannverdeeling. Het macroscopisch resultaat is, dat de stof een magnetisatie verkrijgt.

Bevat echter het magnetisch veld een wisselend deel, dan is het zeer goed mogelijk, dat genoemd evenwicht niet op elk oogenblik gerealiseerd is. Immers het veld verandert voortdurend, zoodat de verdeeling volgens BOLTZMANN, die het eene oogenblik de juiste is, in het volgend oogenblik niet meer past. Het resultaat zal dus afhangen van de snelheid, waarmee de momenten de passende Boltzmannverdeeling bereiken. Men kan nu de aard der door zulk een wisselend magneetveld te voorschijn geroepen wisselende magnetisatie bestudeeren. Die magnetisatie bestaat uit een deel, dat in phase is met het magneetveld en een deel, dat bij het veld achterblijft. In dit proefschrift zal alleen het eerste deel worden beschouwd. Dit deel der magnetisatie blijkt een functie te zijn van de frequentie: er treedt dispersie op. Het doel van ons onderzoek is de bestudeering van deze paramagnetische dispersie bij verschillende stoffen, om zoo een inzicht te verkrijgen in de mechanismen, werkzaam bij het instellen der Boltzmannverdeeling.

#### § 2. *Vroegere onderzoekingen en theorieën.*

De in § 1 genoemde mechanismen onderscheiden we in de wissel-

werking tusschen de spins onderling en die tusschen de spins en de elastische warmtetrillingen in het rooster. Beide zijn zoowel theoretisch als experimenteel onderzocht, theoretisch het eerst door WALLER <sup>57)</sup> in 1932. Verder gaven HEITLER en TELLER <sup>30)</sup> in 1936 een beschouwing over de wisselwerking tusschen spins en tralie, terwijl de eerste experimenteele onderzoekingen werden verricht door GORTER <sup>16)</sup> <sup>17)</sup> in 1935 en 1936. GORTER ging na in hoeverre de magnetisatie achterblijft bij het aangelegde wisselveld; hij mat echter niet de dispersie, maar de absorptie. Een gevolg van dat achterblijven der magnetisatie is namelijk, dat er energie uit het wisselveld wordt geabsorbeerd, die als warmte vrijkomt. Er werd gewerkt met frequenties van de orde van  $10^7 \text{ sec}^{-1}$  en bij temperaturen van  $14^\circ$ — $77^\circ\text{K}$ . Extrapolatie der uitkomsten naar hogere frequenties toonde aan, dat de magnetisatie onafhankelijk van de temperatuur ongeveer  $10^{-10} \text{ sec}$ . achterblijft bij het aangelegde veld. Dit was in overeenstemming met de theorie van WALLER, volgens welke in ongeveer  $10^{-10} \text{ sec}$ . het temperatuur-evenwicht in het spinsysteem wordt bereikt. Volgens deze theorie zeggen die onderzoekingen iets omtrent de magnetische wisselwerking tusschen de spins onderling.

Bij deze experimenten werd ook nagegaan de invloed van een constant magneetveld op de absorptie. Dit veld werd zoowel evenwijdig aan als loodrecht op het wisselveld aangebracht en was slechts klein namelijk tot  $10^2$  Oerstedt. Onderzoekingen met een constant magneetveld parallel aan het wisselveld werden in 1937 en 1938 ook uitgevoerd door GORTER en BRONS <sup>3)</sup> <sup>4)</sup> <sup>5)</sup> <sup>6)</sup> <sup>21)</sup> bij ijzerammoniumaluin, doch nu bij een veel grootere veldsterkte (tot 4800 Ö). De frequentie van het wisselveld lag in de buurt van  $10^6 \text{ sec}^{-1}$ , terwijl gewerkt werd bij temperaturen van  $77^\circ$  en  $90^\circ\text{K}$ ; zoowel dispersie als absorptie werd hierbij gemeten. Naar aanleiding van de eerstgenoemde onderzoekingen werd nu door GORTER en KRONIG <sup>22)</sup> een theorie opgesteld, welke tot analoge formules voerde als die, welke door DEBIJE <sup>11)</sup> waren opgesteld voor het dielectrische geval, wanneer dus de dielectrische polarisatie achterblijft bij een wisselend electrisch veld. Deze theorie werd door de genoemde metingen van GORTER en BRONS bevestigd. Verder scheen het, dat de resultaten der metingen in groote velden slechts afhingen van de wisselwerking tusschen spins en rooster. De volgens HEITLER en TELLER uitgerekende insteltijd voor het thermodynamisch evenwicht klopte echter niet met die gevonden

in het experiment. Dit is echter ook niet verwonderlijk, als men bedenkt, dat HEITLER en TELLER hun theorie hebben opgesteld voor zeer lage temperaturen ( $0,1^\circ\text{K}$ ). Ook het verloop met de temperatuur en de afhankelijkheid van de veldsterkte gevonden door HEITLER en TELLER stemde niet met het experiment overeen. Daarom werd de zaak nog eens bekeken door FIERZ <sup>14)</sup> voor hogere temperaturen en deze kwam tot een grootte der wisselwerking tusschen spinsysteem en rooster en een verloop met de temperatuur, welke iets beter met de metingen overeenkwamen. Nadat KRONIG <sup>41)</sup> de theorie van GORTER en KRONIG had uitgebreid en KRONIG en BOUWKAMP <sup>43)</sup> hadden aangetoond, dat in de experimenten met groote constante magneetvelden werkelijk alleen de interactie spins-tralie een rol speelt, stelde KRONIG <sup>44)</sup> in 1939 formules op voor de grootte van die interactie, welke wat orde van grootte betreft met het experiment bleken te kloppen.

Intusschen waren ook door DE HAAS en DU PRÉ <sup>25)</sup> <sup>26)</sup> in 1938 te Leiden metingen verricht betreffende de paramagnetische dispersie in ijzeraluin en wel voor temperaturen van ongeveer  $1,5^\circ\text{K}$  en frequenties van  $15\text{--}60\text{ sec}^{-1}$ . Een longitudinaal magneetveld werd aangelegd tot 2150 Oerstedt. Ook zij vonden een insteltijd, welke veel kleiner is, dan die berekend door HEITLER en TELLER.

Naar aanleiding van de laatste experimenten werd nu een theorie opgesteld door CASIMIR en DU PRÉ <sup>8)</sup>, welke dispersie en absorptie vanuit een iets andere gezichtshoek beschouwde, doch die formules leverde analoog aan die van GORTER en KRONIG.

Tot dusverre was in hoofdzaak ijzerammoniumaluin onderzocht\*), omdat dit zout zeer geschikt is voor proeven met adiabatische demagnetisatie voor het verkrijgen van extreem lage temperaturen. Zooals bekend is, spelen daarbij de bovengenoemde wisselwerkingen eveneens een rol. Door ons werd nu niet alleen het onderzoek van ijzeraluin uitgebreid, doch ook werden zouten onderzocht van verschillende andere ionen uit de ijzergroep. Dit was zeer zeker noodig om het inzicht in de verschijnselen te verdiepen en dit inzicht te toetsen aan de feiten. Hier kan nog worden opgemerkt, dat voor een groot deel het experiment aan de theorie voorafging; de theorie werd ten deele opgesteld naar aanleiding van en in verband met onze onderzoekingen. Een nadere formuleering van het doel der

---

\*) De te Groningen aan dit zout verrichte onderzoekingen zijn uitvoerig beschreven in het proefschrift van F. BRONS.

onderzoekingen zal worden gegeven aan het eind der theoretische beschouwingen in hoofdstuk III, nadat in hoofdstuk II een meer algemeene beschouwing over het paramagnetisme in verband met de door ons onderzochte stoffen is gegeven. Daarna volgt dan een uiteenzetting van de meetmethode en een overzicht der uitgevoerde metingen met bespreking der resultaten in hoofdstuk IV.